



**Espacenet**

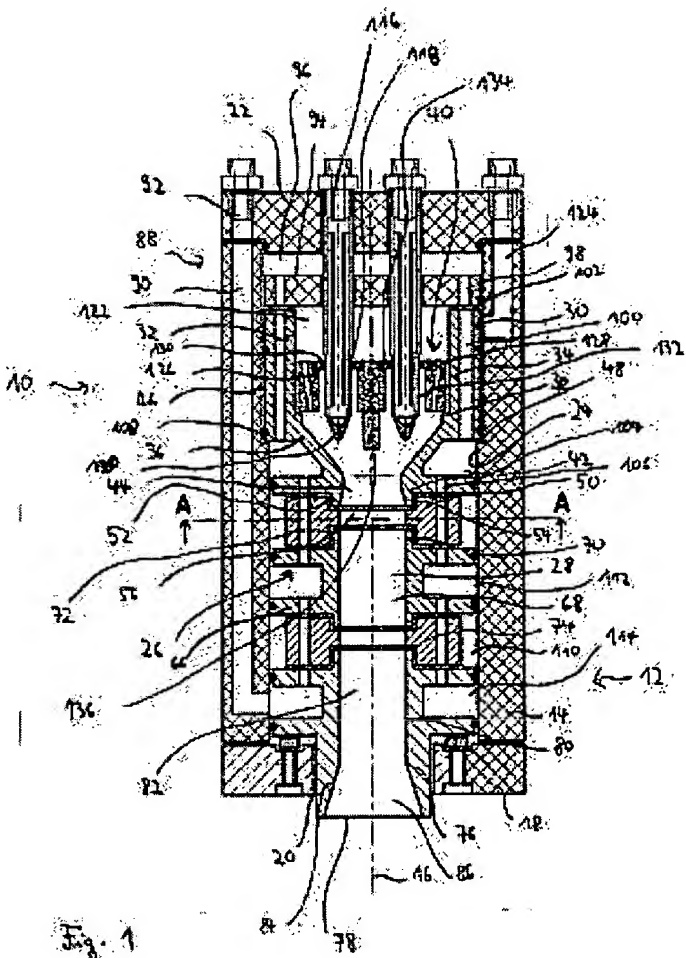
## Bibliographic data: EP1113711 (A2) — 2001-07-04

Plasma torch and method for generating a plasma jet

**Inventor(s):** PESCHKA WALTER PROF DR [DE] ±  
**Applicant(s):** GTV GES FUER THERMISCHEN VERSC [DE] ±  
**Classification:**  
     - international: H05H1/34; (IPC1-7): H05H1/34  
     - European: H05H1/34  
**Application number:** EP20000128326 20001222  
**Priority number(s):** DE19991063904 19991231  
**Also published as:** EP1113711 (A3) DE19963904 (A1)

### Abstract of EP1113711 (A2)

A combustion chamber (26) has multiple combustion chamber electrodes fitted in sequence in an axial direction regarding a combustion chamber axis (16). Each single combustion chamber electrode can be fed individually with current. On the lower end of a casing wall (14) there is a casing base (18) with a cylindrical opening (20) around the axis. A casing cover (22) connects to the casing on the other end of the casing.



Last updated: 5.12.2011    Worldwide  
 Database    5.7.31; 93p



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**04.07.2001 Patentblatt 2001/27**

(51) Int Cl.7: **H05H 1/34**

(21) Anmeldenummer: **00128326.6**

(22) Anmeldetag: **22.12.2000**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU**  
**MC NL PT SE TR**  
 Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL LT LV MK RO SI**

(71) Anmelder: **GTV-Gesellschaft für thermischen**  
**Verschleiß-Schutz mbh**  
**57629 Luckenbach (DE)**

(72) Erfinder: **Peschka, Walter, Prof. Dr.**  
**71065 Sindelfingen (DE)**

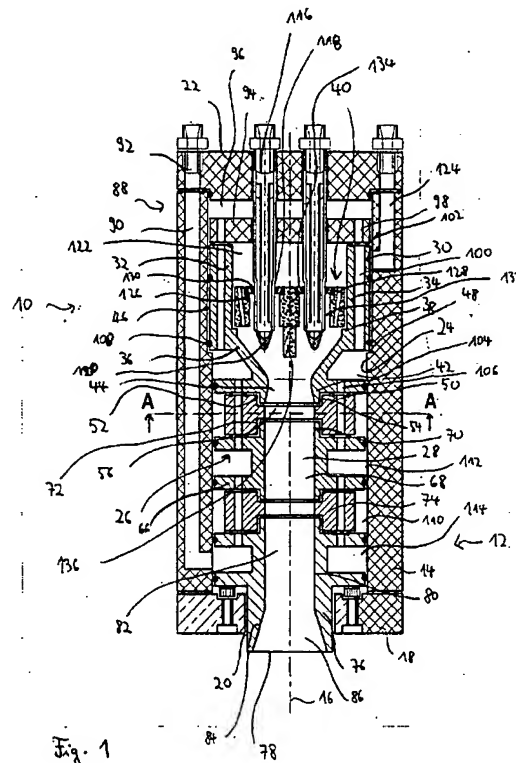
(30) Priorität: **31.12.1999 DE 19963904**

(74) Vertreter: **Hoeger, Stellrecht & Partner**  
**Uhlandstrasse 14 c**  
**70182 Stuttgart (DE)**

(54) **Plasmabrenner und Verfahren zur Erzeugung eines Plasmastrahls**

(57) Um einen Plasmabrenner mit einer Brennkammer, in welcher zwischen einer Elektrode und einer Gegenelektrode ein Lichtbogen erzeugbar ist und dem ein Arbeitsgas zur Plasmabildung zuführbar ist, zu schaffen, welcher variabel einsetzbar ist, wird vorgeschlagen,

daß die Brennkammer eine Mehrzahl von Brennkammer-Elektroden umfaßt, welche in axialer Richtung bezüglich einer Brennkammerachse aufeinanderfolgend angeordnet sind, wobei jede einzelne Brennkammer-Elektrode individuell strombeaufschlagbar ist.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen Plasmabrenner mit einer Brennkammer, in welcher zwischen einer Elektrode und einer Gegenelektrode ein Lichtbogen erzeugbar ist und dem ein Arbeitsgas zur Plasmabildung zuführbar ist.

**[0002]** Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Erzeugung eines Plasmastrahls, bei welchem in einer Brennkammer ein Lichtbogen zwischen einer Elektrode und einer Gegenelektrode erzeugt wird.

**[0003]** Solche Vorrichtungen und Verfahren sind beispielsweise aus der DE 41 05 407 C2, der DE 41 05 408 C1, der DE 195 40 587 A1, der EP 0 249 238 A2 oder der EP 0 529 850 A2 bekannt.

**[0004]** Aus der EP 0 436 576 B1 ist eine Vorrichtung zum Erzeugen von Entladungsbögen bekannt, die eine erste Elektrode und zumindest zwei weitere Elektroden umfaßt, wobei mittels einer Steuereinrichtung der Weg des Bogens zwischen der ersten Elektrode und den weiteren Elektroden verändert werden kann.

**[0005]** Plasmabrenner werden beispielsweise eingesetzt für Plasmasprayverfahren zur Beschichtung von Werkstoffen, wobei einem Plasmastrahl ein Pulver zugeführt wird.

**[0006]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Plasmabrenner der gattungsgemäßen Art zu schaffen, welcher variabel und universell einsetzbar ist und insbesondere umfangreiche Steuerungs- und/oder Regelungsmöglichkeiten aufweist.

**[0007]** Diese Aufgabe wird beim Plasmabrenner der eingangs genannten Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Brennkammer eine Mehrzahl von Brennkammer-Elektroden umfaßt, welche in axialer Richtung bezüglich einer Brennkammerachse aufeinanderfolgend angeordnet sind und daß jede einzelne Brennkammer-Elektrode individuell elektrisch ansteuerbar und insbesondere strombeaufschlagbar ist.

**[0008]** Durch das erfindungsgemäße Vorsehen einer Mehrzahl von axial angeordneten Brennkammer-Elektroden läßt sich die Stromverteilung in der Brennkammer variabel einstellen und dadurch die Ausbildung des Lichtbogens bei der Bogenentladung gezielt steuern und/oder regeln. Beispielsweise kann, wenn die Brennkammer Anoden umfaßt und mehrere als Kathoden wirkende Elemente vorgesehen sind, eine Kathode dazu dienen, in Zusammenwirkung insbesondere mit der nächstliegenden Anode unter minimalem Energiebedarf den Lichtbogen aufrechtzuerhalten, während die restlichen Kathoden im wesentlichen dazu dienen, den Lichtbogen mittels der anderen Anoden durch die Brennkammer zu führen, um einen optimierten Plasmastrahl zu erzeugen.

**[0009]** Zur Erzeugung eines Plasmastrahls ist es grundsätzlich notwendig, daß die Brennkammer mindestens an einer Stelle einen verengten Querschnitt aufweist. Im Bereich dieses verengten Querschnitts sind die Brennkammerwände stark thermisch belastet. Erfindungsgemäß läßt sich durch entsprechende Einstellung der Strombeaufschlagung der Elektroden der Plasmastrahl gezielt durch diese Engstelle unter Minimierung der Wandbelastung führen.

5 **[0010]** Bei der Zuführung eines Zusatzwerkstoffes, beispielsweise eines Spraypulvers, in den Plasmastrahl wird in der Brennkammer eine Zweiphasenströmung ausgebildet. Bei aus dem Stand der Technik bekannten Plasmabrennern sind die Steuerbarkeit und/oder Regelbarkeit bezüglich der Zuführung des Zusatzwerkstoffes, beispielsweise dessen Massenanteils, enge Grenzen gesetzt. Bei der erfindungsgemäßen Lösung wird durch die Mehrzahl individuell strombeaufschlagbarer Brennkammer-Elektroden erhöhte Steuerungs- und/oder Regelungsmöglichkeiten vorgegeben, so daß der erfindungsgemäße Plasmabrenner universell einsetzbar ist und insbesondere sich Oberflächenbeschichtungen mit gesteuerten Schichtstrukturen erzeugen lassen, die bisher mit aus dem Stand der Technik bekannten Plasmabrennern nicht herstellbar waren.

10 **[0011]** Insbesondere können mit dem erfindungsgemäßen Plasmabrenner Beschichtungen hergestellt werden, bei denen der Zusatzwerkstoff als Beschichtungsmaterial, welches in die Brennkammer eingeführt wird, während des Betriebs selber variiert werden kann, da die individuell strombeaufschlagbaren Elektroden eine entsprechende Steuerung und/oder Regelung ermöglichen. Zudem läßt sich eine größere Variabilität bezüglich der Zuführung der einzelnen Zusatzwerkstoffanteile erreichen.

15 **[0012]** Bevorzugterweise handelt es sich bei den Brennkammer-Elektroden um Anoden. Es können beispielsweise aber auch Drehströme zwischen Elektroden und Gegenelektroden angewandt werden, so daß in diesem Fall die Brennkammer-Elektroden auch mindestens teilweise als Kathoden wirken können und die Gegenelektroden, die sonst als Kathoden wirken, als Anode.

20 **[0013]** Ganz besonders vorteilhaft ist es, wenn zwischen benachbarten Brennkammer-Elektroden jeweils ein Isolierelement angeordnet ist. Die Brennkammer-Elektroden werden dadurch elektrisch getrennt, so daß die individuelle Strombeaufschlagbarkeit jeder einzelnen Brennkammer-Elektrode gewährleistet ist. Die Isolierelemente lassen sich dabei insbesondere auch als Zuführeinrichtungen für Zusatzwerkstoff in die Brennkammer ausbilden, so daß auf konstruktiv einfache Weise Zusatzwerkstoff dem Plasmastrahl zuführbar ist.

25 **[0014]** Günstigerweise ist ein Isolierelement aus einem gut wärmeleitenden metallischen Material hergestellt. Durch einen elektrisch nicht leitenden Überzug wird dann die elektrische Isolierungseigenschaft bereitgestellt, während das Isolierelement weiterhin gut Wärme abführen kann.

30 **[0015]** Insbesondere kann es vorgesehen sein, daß in einem Innenraum des Isolierelements ein Abstandsring angeordnet ist. Dieser ist insbesondere aus einem hochtemperaturbeständigen, elektrisch isolierenden

Material gefertigt, und über seine axiale Höhe ist der Abstand benachbarter Brennkammer-Elektroden bestimmt und läßt sich durch entsprechende Auswahl des Abstandsrings einstellen.

**[0016]** Bei einer Variante einer Ausführungsform ist es vorgesehen, daß ein Isolierelement mit einer benachbarten Brennkammer-Elektrode verlötet ist, um eine Abdichtung zu erhalten. Die Brennkammer-Elektroden müssen üblicherweise mit einem Kühlmittel wie Wasser gekühlt werden, und die abdichtende Verlotung verhindert, daß Kühlmittel in die Brennkammer eindringen kann. Die Abdichtung ermöglicht damit auch eine bessere Kühlung der Anode und gewährleistet damit eine hohe Standzeit des erfindungsgemäßen Plasmabrenners.

**[0017]** Vorteilhafterweise sind dabei das Material für eine Brennkammer-Elektrode und das Material für ein damit zu verbindendes Isolierelement so gewählt, daß die Wärmedehnung von Isolierelement und Brennkammer-Elektrode aneinander angepaßt ist. Aufgrund der hohen Temperaturen in der Brennkammer kann eine zu starke unterschiedliche Wärmedehnung von Isolierelement und Brennkammer-Elektrode zu einem Bruch oder zumindest zu Undichtigkeiten in der Lötstelle führen ("thermal mismatch"). Werden die Materialien entsprechend gewählt, so läßt sich dies weitgehend vermeiden. Üblicherweise wird als Brennkammer-Elektrodenmaterial Kupfer verwendet. Das Isoliermaterial kann dann beispielsweise kristallines Aluminiumoxid, Saphir, Magnesit oder Siliziumkarbid sein oder auch eine Aluminium-Hartlegierung, wie AlMgSi1,5, die eloxiert ist.

**[0018]** Es kann zur Vermeidung eines solchen "thermal mismatch" ein Puffer zwischen einer Brennkammer-Elektrode und einem zu verbindenden Isolierelement aus einem Puffermaterial vorgesehen sein, welches einen Wärmedehnungskoeffizienten zwischen dem des Materials des Isolierelements und dem des Materials der Anode aufweist. Dieser Puffer stellt einen Ausgleich dar, der einen Bruch der Lötstelle aufgrund der unterschiedlichen Wärmeausdehnung von Brennkammer-Elektrode und Isolierelement verhindert.

**[0019]** Das Puffermaterial ist dabei insbesondere mittels Sprengplattierung auf die Brennkammer-Elektrode und/oder das Isolierelement aufgebracht. Durch stoßartige Druckwellen hoher Energie können Verbundsysteme einer Vielzahl von Werkstoffen erzeugt werden, so daß für das Puffermaterial eine entsprechende große Auswahl besteht; es ist dann ein optimales Material wählbar, um den Ausgleich zwischen den unterschiedlichen Wärmedehnungskoeffizienten von Isolierelement und Anode über den Puffer zu erreichen.

**[0020]** Vorteilhafterweise ist die Brennkammer rotationssymmetrisch um eine Brennkammerachse ausgebildet, um Brennkammerwände nicht ungleichmäßig zu belasten.

**[0021]** Um den erfindungsgemäßen Plasmabrenner variabel einsetzen zu können, ist günstigerweise die Brennkammer als Plasmadüse für einen Plasmastrahl

ausgebildet. Dieser Plasmastrahl kann dann gezielt auf ein Werkstück gerichtet werden, beispielsweise zum Schneiden oder Schweißen oder, wenn ein Zusatzwerkstoff eingeführt wird, zum Beschichten.

**[0022]** Bei einer Variante einer Ausführungsform ist es vorgesehen, daß ein Düsensegment der Plasmadüse, welches den engsten Querschnitt der Plasmadüse umfaßt, als Elektrode ausgebildet ist. Der engste Querschnitt dient zur Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit des Arbeitsgases, um einen definierten Plasmastrahl zu erzeugen. Beispielsweise kann eine Bogenentladung zwischen einer Kathode und dieser Anode erzeugt werden, welche im wesentlichen dazu dient, den Bogen aufrechtzuerhalten; über die restlichen Anoden kann dann der Bogen gezielt durch die Brennkammer geführt werden, um entsprechend den Plasmastrahl "elektrisch" zu führen.

**[0023]** Bei einer alternativen Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Plasmabrenners ist es vorgesehen, daß ein Düsensegment der Plasmadüse, welches den engsten Querschnitt der Plasmadüse umfaßt, nicht als Elektrode ausgebildet ist und/oder nicht als Elektrode wirkt. Dadurch wird der Lichtbogen durch den engsten Querschnitt hindurchgeführt und setzt erst nach diesem engsten Querschnitt an einer Elektrode an. Dadurch wird die thermische Belastung an diesem engsten Querschnitt als kritischen Bereich erheblich verringert, so daß der Plasmabrenner insgesamt eine längere Standzeit aufweist bzw. gegenüber aus dem Stand der Technik bekannten Plasmabrennern bei gleicher Standzeit mit erhöhter Leistung betrieben werden kann.

**[0024]** Günstigerweise ist dabei bezogen auf die Strömungsrichtung des Arbeitsgases nach dem Düsensegment, welches den engsten Querschnitt der Plasmadüse umfaßt, ein Düsensegment angeordnet, welches als Elektrode ausgebildet ist. An dieser Elektrode kann dann der Lichtbogen ansetzen.

**[0025]** Ganz besonders vorteilhaft ist es, wenn ein Zusatzwerkstoff in die Brennkammer einführbar ist. Dadurch läßt sich eine hohe Variabilität insbesondere bezüglich der Anwendung des erfindungsgemäßen Plasmabrenners bei der Beschichtung von Werkstoffen erreichen.

**[0026]** Vorteilhafterweise erfolgt dabei die Zuführung des Zusatzwerkstoffes in die Brennkammer bezogen auf die Strömungsrichtung des Arbeitsgases nach dem engsten Querschnitt der Brennkammer. Der Zusatzwerkstoff, welcher in die Brennkammer eingeführt wird, hat grundsätzlich eine abrasive Wirkung bezüglich Brennkammerwänden. Der kritischste Bereich in der Brennkammer bezüglich einer Wandbelastung ist der engste Querschnitt. Durch das Einführen des Zusatzwerkstoffes nach dem engsten Querschnitt wird diese zusätzliche Belastung an dem engsten Querschnitt vermieden, wobei die erfindungsgemäße Anordnung einer Mehrzahl von Brennkammer-Elektroden, die individuell strombeaufschlagbar sind, gerade die Zuführungsmöglichkeit nach dem engsten Querschnitt gewährleistet.

**[0027]** Vorteilhafterweise ist der Zusatzwerkstoff quer zu einer Brennkammerachse in die Brennkammer einführbar und insbesondere im wesentlichen senkrecht zur Brennkammerachse einführbar. Dadurch wird gewährleistet, daß der Zusatzwerkstoff von dem Plasmastrahl mitgenommen wird, da dieser durch den Zusatzwerkstoffstrom hindurchtritt. Insbesondere ist dadurch vermieden, daß "unverarbeiteter" Zusatzwerkstoff direkt auf das Werkstück fallen kann und so beispielsweise Fehlstrukturen der Beschichtung auftreten können. (Es ist zu bedenken, daß für Beschichtungsanwendungen der Zusatzwerkstoff üblicherweise ein Pulver ist.)

**[0028]** Günstigerweise ist der Zusatzwerkstoff in die Brennkammer quer zu einer radialen Richtung einführbar und insbesondere tangential zu einer Azimutalrichtung. Dadurch ist dem Zusatzwerkstoff beim Eintritt in die Brennkammer ein Drall erteilbar, durch den die Aufnahme in dem Plasmastrahl und Mitnahme mit dem Plasmastrahl erhöhbar ist.

**[0029]** Günstigerweise ist zum Einblasen von Zusatzwerkstoff in die Brennkammer ein Transportmedium wie eine Transportflüssigkeit oder ein Transportgas in die Brennkammer einleitbar. Dieses Transportmedium kann dann den Zusatzwerkstoff, beispielsweise ein Pulver, in die Brennkammer einblasen. Bei dem Transportgas handelt es sich insbesondere um ein inertes Gas wie Argon, Helium oder Neon. Es werden auch Versuche mit reaktiven Gasen wie Methan durchgeführt.

**[0030]** Ganz besonders vorteilhaft ist es, wenn eine Mehrzahl von Zuführungseinrichtungen vorgesehen ist, durch welche Zusatzwerkstoff in die Brennkammer einführbar ist, wobei die Zuführeinrichtungen axial beabstandet sind und die Zuführung durch die jeweiligen Zuführeinrichtungen unabhängig voneinander durchführbar ist. Dadurch läßt sich an verschiedenen Stellen der Brennkammer Zusatzwerkstoff einblasen und insbesondere lassen sich auch verschiedene Zusatzwerkstoffmaterialien einblasen. Durch entsprechende Auswahl der Zusatzwerkstoffe und der Einblasstellen läßt sich dann im Zusammenhang mit einer entsprechenden Steuerung und/oder Regelung der Strombeaufschlagung der Elektroden ein "Mischstrahl" auf ein Werkstück richten, so daß beispielsweise bei einem Beschichtungsvorgang eine definierte Schichtstruktur bildbar ist, die mehrere Beschichtungsmaterialien umfaßt.

**[0031]** Bei einer Variante einer Ausführungsform umfaßt die Brennkammer eine Mehrzahl von Anoden als Brennkammer-Elektroden. Insbesondere ist dann eine Gegenelektrode dazu eine Kathode.

**[0032]** Ganz besonders vorteilhaft ist es, wenn eine Mehrzahl von Gegenelektroden zu den Brennkammer-Elektroden vorgesehen ist, um umfangreiche Steuerungs- und/oder Regelungsmöglichkeiten zu erhalten.

**[0033]** Ganz besonders vorteilhaft ist es, wenn die Anzahl von Gegenelektroden der Anzahl der Brennkammer-Elektroden entspricht. Dadurch läßt sich jeder Kathode eine Anode bzw. umgekehrt zuordnen und eine

entsprechende Stromversorgung dieser zugehörigen Elektrodenpaare ausbilden. Ein solches Elektrodenpaar ist dann bezüglich der anderen Elektrodenpaare unabhängig mit Spannung versorgt, so daß dadurch jede Brennkammer-Elektrode individuell strombeaufschlagbar ist.

**[0034]** Es ist günstig, wenn die Gegenelektroden symmetrisch zu den Brennkammer-Elektroden bezüglich einer Brennkammerachse angeordnet sind. Dadurch ist zum einen die Steuerung und/oder Regelung nicht eingeschränkt und zum anderen werden ungleichmäßige Kammerwandbelastungen der Brennkammer vermieden. Insbesondere können drei Kathoden vorgesehen sein.

**[0035]** Um der Brennkammer gleichmäßig Arbeitsgas zuführen zu können, ist günstigerweise ein zentraler Zuführungskanal vorgesehen.

**[0036]** Ganz besonders vorteilhaft ist es, wenn ein Pufferspeicher für das Arbeitsgas vorgesehen ist. Dieser Pufferspeicher, welcher zwischen der Brennkammer und einer Arbeitsgasquelle angeordnet ist, dient dazu, Druckschwankungen bei der Arbeitsgaszuführung von der Quelle her auszugleichen, so daß der Brennkammer ständig gleichmäßig Arbeitsgas mit einem im wesentlichen konstanten Druck zugeführt wird und somit der erfindungsgemäße Plasmabrenner eine hohe Betriebsstabilität aufweist.

**[0037]** Bei einer vorteilhaften Variante einer Ausführungsform ist es vorgesehen, daß das Arbeitsgas zur Gegenelektrodenkühlung einsetzbar ist. Dadurch wird die Standzeit des erfindungsgemäßen Plasmabrenners erhöht, da über die zusätzliche Gegenelektrodenkühlung durch das Arbeitsgas der Abbau der Gegenelektrode verlangsamt wird.

**[0038]** Günstigerweise ist dazu ein Gegenelektrodenhalter vorgesehen, der einen oder mehrere Kanäle umfaßt, durch die Arbeitsgas der Brennkammer zuführbar ist. Über den Gegenelektrodenhalter läßt sich dann auch Arbeitsgas zur Kühlung der Gegenelektrode zuführen und insbesondere läßt sich diese mit Arbeitsgas umströmen. Dazu ist günstigerweise in dem Gegenelektrodenhalter um eine Gegenelektrode ein im Querschnitt ringartiger Spalt gebildet, so daß Arbeitsgas, welches aus dem Gegenelektrodenhalter austritt, in einer Ringströmung fließt und damit die Gegenelektrode umströmen kann. Es wird dann eine optimale Kühlwirkung erzielt.

**[0039]** Bei einer Variante einer Ausführungsform ist es vorgesehen, daß ein im Querschnitt ringartiger Spalt kegelförmig ausgebildet ist mit einer Neigung in Richtung der Gegenelektrode. Es wird dadurch erreicht, daß das Arbeitsgas die Gegenelektrode umströmt und an ihr entlangströmt, um Wärme abzuführen.

**[0040]** Günstigerweise sind der oder die Kanäle des Gegenelektrodenhalters in Richtung der Brennkammerachse geneigt. Dadurch erhält das Arbeitsgas beim Austritt in die Brennkammer einen Drall, der zur Verbesserung der Vermischung des Zusatzwerkstoffes in ei-

nen Plasmastrahl dient. Es ist also günstig, wenn beim Eintritt des Arbeitsgases in die Brennkammer ein Drall erzeugbar ist. Insbesondere läßt sich der Grad der Turbulenz der Strömung im Brennraum durch den dem Arbeitsgas erteilten Drall steuern.

[0041] Dieser Drall kann gleichsinnig oder gegensinnig zur Strömungsrichtung eines Zusatzwerkstoffes in die Brennkammer sein. Dies richtet sich nach der speziellen Anwendung, je nachdem was günstiger ist.

[0042] Bei einer Variante einer Ausführungsform ist es vorgesehen, daß eine Gegenelektrode zu den Brennkammer-Elektrode bezüglich des Brennraums in ihrer axialen Stellung verschieblich ist. Dadurch läßt sich die Gestalt des Lichtbogens optimieren, indem entsprechend insbesondere der Abstand einer Kathode als Gegenelektrode zu dem engsten Querschnitt verändert wird. Es läßt sich dadurch auch ein Kathodenabbrand aufgrund des Betriebs des erfindungsgemäßen Plasmabrenners berücksichtigen.

[0043] Insbesondere ist es dabei vorteilhaft, wenn eine Gegenelektrode während des Betriebs der Plasmabrennvorrichtung verstellbar ist, um so eine weitere Steuerungs- und/oder Regelungsmöglichkeit zu erhalten.

[0044] Ganz besonders vorteilhaft ist es, wenn die Strombeaufschlagung jeder Brennkammer-Elektrode unabhängig von der der anderen Brennkammer-Elektroden und insbesondere der Stromfluß zu jeder Brennkammer-Elektrode von demjenigen zu den anderen Brennkammer-Elektroden einstellbar und steuerbar und/oder regelbar ist. Dadurch läßt sich der erfindungsgemäße Plasmabrenner universell einsetzen und man erhält eine hohe Variabilität bezüglich möglicher Anwendungen.

[0045] Günstigerweise ist dabei eine Gleichstromversorgung und insbesondere steuerbare und/oder regelbare Gleichstromversorgung für jeweils ein Elektrodenpaar Gegenelektrode/Brennkammer-Elektrode (Kathode und zugeordneter Anode) vorgesehen, so daß dadurch die Einstellbarkeit der Strombeaufschlagung einer individuellen Brennkammer-Elektrode einstellbar ist und umfangreiche Steuerungs- und/oder Regelungsmöglichkeiten erhalten werden.

[0046] Es können ein oder mehrere Netzgeräte für die Stromversorgung der Brennkammer-Elektroden vorgesehen sein.

[0047] Besonders günstig ist es, wenn der Stromversorgung der Elektroden Hochfrequenzpulse überlagerbar sind. Durch solche Hochfrequenzimpulse läßt sich der Lichtbogen, welcher in der Brennkammer ausgebildet ist, stabilisieren. Über die Hochfrequenzimpulse ergibt sich dabei eine zusätzliche Steuerungs- und/oder Regelungsmöglichkeit.

[0048] Bei einer besonders vorteilhaften Variante einer Ausführungsform ist eine Zusatzheizung für die Brennkammer vorgesehen. Dadurch ergibt sich eine weitere Steuerungs- und/oder Regelungsmöglichkeit, indem das Plasma in der Brennkammer nachgeheizt

wird.

[0049] Eine Zusatzheizung ist vorteilhafterweise dadurch gebildet, daß der elektrischen Energieversorgung der Gegenelektroden ein Drehstrom überlagert wird, insbesondere wenn drei Gegenelektroden vorgesehen sind. Man erhält dann einen zwischen den Gegenelektroden umlaufenden Lichtbogen, wobei die Gleichstrom-Hauptentladungen von diesen Elektroden ausgehend auf die Brennkammer-Elektroden erfolgt.

[0050] Konstruktiv günstig ist es, wenn die Zusatzheizung ein oder mehrere Elektroden und insbesondere Kathoden umfaßt, welche quer zur Brennkammerachse in die Brennkammer weisen. Dadurch läßt sich das Plasma auf einfache Weise zusätzlich heizen.

[0051] Um eine effektive Heizung zu bewirken, ist eine Elektrode für eine Zusatzheizung günstigerweise im wesentlichen in einer radialen Richtung der Brennkammer ausgerichtet.

[0052] Die Zusatzheizung ist vorteilhafterweise mittels Gleichstrom und/oder Wechselstrom und/oder Drehstrom betätigbar.

[0053] Ganz besonders vorteilhaft ist es, wenn ein Düsensegment der Plasmadüse, welches den engsten Querschnitt umfaßt, einen konvergenten Teil und einen sich anschließenden schwach divergenten Teil aufweist. Dadurch, daß die Erweiterung im divergenten Teil des Düsensegmentes nur sehr gering ist, ist die Verengung bezogen auf diesen Teil auch gering. Es läßt sich dann die Standzeit der Düse erhöhen, da die Verengung infolge Erosion an dem Querschnitt sich einem nachfolgendem zylindrischen Kanalabschnitt annähert. Bei der Strömung in dem Düsensegment treten dissipative Verluste auf und zwar dissipative Wandverluste und Strömungsverluste. Dies bewirkt mit der entsprechenden Kanalgeometrie an dem Düsensegment, daß eine schallnahe Strömung strömt, welche in Wandnähe Unterschallgeschwindigkeit aufweist und bei der Achse der Brennkammer mit einer Machzahl im Bereich zwischen etwa 1 bis 1,05 strömt. Aufgrund der Turbulenz in der Strömung ist dann die Strömung in dem nachfolgenden zylindrischen Kanalabschnitt weiterhin schallnah mit einer mittleren Machzahl von im wesentlichen 1.

[0054] Günstigerweise sind dabei eine Gegenelektrode und die Brennkammer-Elektroden so angeordnet, daß ein Lichtbogen durch den engsten Querschnitt der Plasmadüse durchgeführt ist. Durch die Elektroden erfolgt eine Heizung des Arbeitsgases mit einem oder mehreren Lichtbögen, wobei beispielsweise pulsieren der Gleichstrom oder Wechselstrom geeigneter Frequenz vorgesehen ist, wobei hindurch die Lichtbögen sich durch den engsten Querschnitt erstrecken. Für Unterschallströmung hat dabei die Heizung durch den Lichtbogen den Einfluß, daß die Strömung vor dem engsten Querschnitt beschleunigt wird, da Heizungen im Unterschallbereich eine Zunahme der Machzahl bis zu maximal 1 zur Folge hat. Bei Überschallströmung liegt jedoch der Einfluß der Heizung darin, daß die Geschwindigkeit und die Machzahl verringert werden. Da-

durch, daß erfindungsgemäß eine konvergenter Teil und ein darin sich anschließender schwach divergenter Teil vorgesehen sind und sich der Lichtbogen durch den engsten Querschnitt hindurchstreckt, wobei dafür gesorgt ist, daß die Strömung stets schallnah ist, wird erreicht, daß die Heizung keinen gegensinnigen Einfluß auf die Strömung hat und dadurch die Strömung stabil bleibt und im wesentlichen im Unterschallbereich und dabei höchstens im schallnahen Überschallbereich verläuft. Dadurch ist das Auftreten stark Verdichtungsstöße unterbunden und insbesondere tritt kein erheblicher Ruhedruckverlust auf.

**[0055]** Ganz besonders vorteilhaft ist es in diesem Zusammenhang, wenn eine oder mehrere Zusatzheizvorrichtungen beabstandet längs der Strömungsrichtung in der Brennkammer angeordnet sind. Mittels einer Zusatzheizvorrichtung wird grundsätzlich ein zylindrischer Strömungskanal verengt, da beispielsweise eine Elektrode in diesen hineinragen muß. Bei entsprechend ausgelegtem erfindungsgemäßen Plasmabrenner wird die erste Zusatzheizung mit Unterschallströmung angeströmt und nach der Zusatzheizung ergibt sich eine schallnahe Überschallströmung. Diese kann grundsätzlich einen negativen Einfluß haben, da insbesondere Verdichtungsstöße auftreten können. Dieser negative Einfluß läßt sich über einen Stoßdiffusor vermindern oder sogar eliminieren; dadurch, daß strömungsabwärts Zusatzwerkstoff in die Brennkammer, das heißt in die Strömung, injiziert werden kann, können schwache Verdichtungsstöße ausgelöst werden und damit läßt sich die Strömung verzögern und der Druck erhöhen. Dies wird dabei ohne Änderung der Geometrie des Strömungskanals (der Plasmadüse) erreicht.

**[0056]** Erfindungsgemäß läßt es sich erreichen, daß das Einblasen von Zusatzwerkstoff grundsätzlich in eine Unterschallströmung beziehungsweise höchstens in eine schallnahe Strömung erfolgt und insbesondere läßt es sich verhindern, daß Zusatzwerkstoff in eine voll ausgebildete Überschallströmung eingeblasen wird. Dadurch ist das Auftreten starker Verdichtungsstöße ausgeschlossen, welche entsprechende Ruhedruckverluste zur Folge hätten.

**[0057]** Der erfindungsgemäße Plasmabrenner läßt sich auch in einem Plasmatriebwerk insbesondere für ein Raumfahrzeug einsetzen. Die umfangreichen Variationsmöglichkeiten bezüglich der Strahlausbildung und Strahlzusammensetzung ermöglichen diesen Einsatz. Es kann dabei auch vorgesehen sein, daß der Zusatzwerkstoff ein flüssiges Medium wie beispielsweise Wasser ist. Dieses flüssige Medium, wenn es in den Lichtbogen des Arbeitsgases eingebracht wird, wird aufgeheizt und expandiert thermisch, wodurch ein Rückstoßimpuls für das Raumfahrzeug erzeugbar ist. Durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung ist dabei eine Belastung der Kathoden und des engsten Brennkammerquerschnitts durch das expandierende Medium vermieden.

**[0058]** Bei dem flüssigen Medium kann es sich auch

um ein chemisch aggressives Medium handeln; die erfindungsgemäße Ausgestaltung erlaubt den Einsatz eines solchen Mediums, da insbesondere die Belastung der Kathode und des engsten Düsenquerschnitts durch den Zusatzwerkstoff vermieden ist.

**[0059]** Die genannte Aufgabe wird erfindungsgemäß bei dem eingangs beschriebenen Verfahren dadurch gelöst, daß die Brennkammer eine Mehrzahl von in axialer Richtung bezüglich einer Brennkammerachse aufeinanderfolgende Brennkammer-Elektroden umfaßt und daß die Brennkammer-Elektroden individuell gesteuert und/oder geregelt mit Strom beaufschlagt werden, um den Lichtbogen in der Brennkammer zu steuern und/oder zu regeln.

**[0060]** Dieses Verfahren weist die bereits im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Plasmabrenner beschriebenen Vorteile auf. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sowie deren Vorteile des Verfahrens sind entsprechend bereits im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Plasmabrenner erläutert.

**[0061]** Günstigerweise wird dabei der Zusatzwerkstoff über eine oder mehrere Zuführeinrichtungen, welche jeweils zwischen benachbarten Brennkammer-Elektroden angeordnet sind, in die Brennkammer eingeblasen. Dadurch wird eine große Variabilität bezüglich des Einsatzes erreicht. Insbesondere lassen sich Schichtstrukturen auf einem Werkstück anfertigen, die mittels verschiedenen Zusatzwerkstoffen gebildet sind.

**[0062]** Ganz besonders vorteilhaft ist es, wenn der Zusatzwerkstoff in eine Ultraschallströmung oder in eine schallnahe Strömung in der Brennkammer eingeblasen wird. Dadurch ist verhindert, daß die Injektion des Zusatzwerkstoffes in eine voll ausgebildete Überschallströmung erfolgt; dadurch ist das Auftreten starker Verdichtungsstöße mit entsprechenden Ruhedruckverlusten vermieden.

**[0063]** Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung sind Gegenstand der nachfolgenden Beschreibung sowie der zeichnerischen Darstellung der Ausführungsbeispiele.

**[0064]** In der Zeichnung zeigen:

Figur 1 eine seitliche Schnittansicht einer ersten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Plasmabrenners;

Figur 2 einen Schnitt durch den Plasmabrenner gemäß Figur 1 entlang der Linie A-A;

Figur 3 eine seitliche Schnittansicht einer zweiten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Plasmabrenners;

Figur 4 einen Schnitt durch den Plasmabrenner gemäß Figur 3 entlang der Linie B-B;

Figur 5 eine seitliche Teilansicht in Schnittdarstellung eines dritten Ausführungsbeispiels ei-

nes erfindungsgemäßen Plasmabrenners;

Figur 6 eine Schnittansicht des Plasmabrenners gemäß Figur 5 entlang der Linie C-C und

Figur 7 eine Schnittansicht des Plasmabrenners gemäß Figur 5 entlang der Linie D-D.

[0065] Eine erste Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Plasmabrenners, welcher in Figur 1 als Ganzes mit 10 bezeichnet ist, umfaßt ein zylindrisches Gehäuse 12 mit einer Gehäusewand 14. Die Gehäusewand 14 weist eine Achse 16 auf.

[0066] An einem unteren Ende der Gehäusewand 14 ist ein Gehäuseboden 18 angeordnet, welcher um die Achse 16 eine zylindrische durchgehende Öffnung 20 aufweist. Weiterhin ist ein Gehäusedeckel 22 vorgesehen, der an dem anderen Ende des Gehäuses 12 mit der Gehäusewand 14 verbunden ist. Die Fixierung von Gehäuseboden 18 und Gehäusedeckel 22 an der Gehäusewand 14 ist in Figur 1 nicht gezeigt und wird im Zusammenhang mit dem dritten Ausführungsbeispiel gemäß Figur 5 noch erläutert.

[0067] Durch die Gehäusewand 14 umschlossen ist im Gehäuse 12 ein zylindrischer Hohlraum 24 gebildet, in dem eine als Ganzes mit 26 bezeichnete Brennkammer angeordnet ist, deren Brennkammerachse mit der Achse 16 zusammenfällt. Ein Brennraum 28 der Brennkammer ist rotationssymmetrisch zu der Brennkammerachse 16 ausgebildet.

[0068] Die Brennkammer 26 ist aus einer Mehrzahl von Segmenten gebildet. Bei dem in Figur 1 gezeigten Ausführungsbeispiel umfaßt die Brennkammer 26 fünf Segmente.

[0069] Ein erstes Segment 30 der Brennkammer 26, welches das dem Gehäusedeckel 22 nächstliegende Segment ist, weist einen ersten Segmentabschnitt 32 auf, dessen Kammerwand 34 zylindrisch ausgebildet ist, wobei die Kammerwand 34 koaxial zu der Gehäusewand 14 ausgerichtet ist. Auf den ersten Segmentabschnitt 32 folgt ein zweiter Segmentabschnitt 36, der einstückig mit dem ersten Segmentabschnitt 32 verbunden ist und der die Form eines Kegelstumpfes mit einer Achse koaxial zur Brennkammerachse 16 aufweist. Der Kegelwinkel ist dabei so, daß eine gedachte Kegelspitze des zweiten Segmentabschnitts 36 zu dem Gehäuseboden 18 weist.

[0070] An dem Übergang zwischen dem ersten Segmentabschnitt 32 und dem zweiten Segmentabschnitt 36 ist im Brennraum 28 eine ringförmige Auflagenstufe 38 für einen als Ganzes mit 40 bezeichneten Gegen-  
elektrodenhalter und insbesondere Kathodenhalter gebildet.

[0071] Auf den zweiten Segmentabschnitt 36 des ersten Segments 30 folgt ein dritter Segmentabschnitt 42, welcher einen kegelstumpfförmigen Innenraum 44 aufweist, wobei eine gedachte Kegelspitze dieses Innenraums 44 auf der Brennkammerachse 16 liegend in

Richtung des Gehäusedeckels 22 weist. Der dem Brennraum 28 zugewandte Übergang zwischen dem zweiten Segmentabschnitt 36 und dem dritten Segmentabschnitt 42 ist abgerundet, so daß keine scharfe Kante an diesem Übergang vorliegt.

[0072] Das erste Segment 30 ist dabei so ausgebildet, daß bei den Normalbetriebsparametern einer Heizung eines Arbeitsgases, durch welche ein Plasma erzeugt wird, daß durch die Verengung zwischen dem zweiten Segmentabschnitt 36 und dem dritten Segmentabschnitt 42 das Arbeitsgas im wesentlichen in Unterschallströmung strömt oder höchstens mit schallnaher Geschwindigkeit. Insbesondere liegt dazu der Kegelwinkel des Innenraums 44 bei einem kleinen Wert.

[0073] Die Gehäusewand 14 ist mit einer zylindrischen Ausnehmung 46 versehen, durch die eine Ringfläche 48 dem Gehäusedeckel 22 zugewandt gebildet ist, auf die das erste Segment 30 zu dessen Positionierung in dem Hohlraum 24 auflegbar ist.

[0074] Auf das erste Segment 30, welches bei einer Variante einer Ausführungsform als Brennkammer-Elektrode und insbesondere als Anode ausgebildet ist unter Verwendung eines metallischen leitfähigen Materials wie insbesondere Kupfer oder bei einer alternativen Variante aus einem nicht leitenden Material gefertigt ist, folgt zum Gehäuseboden 18 hin ein zweites Segment 50, welches als Isolierelement aus einem elektrisch isolierenden Material wie beispielsweise Aluminiumoxid, Saphir, Magnesit oder Siliziumkarbid gefertigt ist. Es kann auch vorgesehen sein, daß ein solches Isolierelement 50 aus einer eloxierten Aluminium-Hartlegierung wie AlMgSi, 5 gefertigt ist. Bei einer Variante einer Ausführungsform ist das Isolierelement aus einem gut wärmeleitenden metallischen Material gefertigt und mit einem elektrisch isolierenden Überzug versehen.

[0075] Das Isolierelement 50 hat eine scheibenförmige Gestalt mit einer zentralen zylindrischen Ausnehmung jeweils an gegenüberliegenden Stirnflächen, so daß das Isolierelement 50 im Querschnitt knochenförmig ist. Ein dadurch dem Gehäusedeckel 22 zugewandt gebildeter Stufenrand 52 ist von einer Außenringfläche 54 des dritten Segmentabschnitts 42 des ersten Segments 30 umgeben.

[0076] Das Isolierelement 50 weist zur Bildung des Brennraums 28 eine zylindrische zentrale Öffnung 56 auf, deren Durchmesser dem Durchmesser des Innenraums 44 des dritten Segmentabschnitts 42 an dem Übergang zum zweiten Segment 50 entspricht.

[0077] In dieser Öffnung kann ein Abstandsring (in der Figur nicht gezeigt) angeordnet sein, um den Abstand zwischen benachbarten Anoden, zwischen denen das Isolierelement (50) angeordnet ist, festzulegen.

[0078] Das Isolierelement 50 ist mit einem Kanal 58 (Figur 2) versehen, welcher quer und insbesondere senkrecht zur Brennkammerachse 16 orientiert ist mit einer Mündungsöffnung 60, welche so ausgerichtet ist, daß ein Fluid quer zu einer radialen Richtung 62 und insbesondere tangential zu einer Azimutalrichtung des



Brennraums 28 in diesen einblasbar ist. Der Kanal 58 geht durch die Gehäusewand 14, um von außen das Fluid, bei dem es sich insbesondere um einen Zusatzwerkstoff handeln kann, in den Brennraum 28 einblasen zu können. Bevorzugterweise ist die Mündungsöffnung 60 so angeordnet, daß das Fluid an oder in der Nähe einer Seitenfläche 64 des Brennraums 28 einblasbar ist, um eine tangentielle Zuführung des Fluids über das als Zuführeinrichtung ausgebildete Isolierelement 50 zu ermöglichen.

[0079] Auf das Isolierelement 50 folgt eine Anode 66 als drittes Segment und als weitere Brennkammer-Elektrode mit einem zylindrischen Innenraum 68, dessen Durchmesser dem der Öffnung 56 im zweiten Segment 50 entspricht. Dem zweiten Segment 50 zugewandt weist das dritte Segment 66 ein in Richtung des Gehäusedeckels 22 weisendes Ringelement 70 auf, welches um einen entsprechenden Stufenrand 72 des zweiten Segments 50, welcher dem Gehäuseboden 18 zugewandt ist, umläuft.

[0080] Auf das dritte Segment 66, welches als anodische Brennkammer-Elektrode ausgebildet ist, folgt ein viertes Segment 74 der Brennkammer 26, welches ein Isolierelement ist und grundsätzlich gleich aufgebaut ist wie das zweite Segment 50. Ein entsprechendes unteres, dem Ringelement 70 abgewandtes Ringelement des dritten Segments 66 umläuft dabei einen entsprechenden Stufenrand des vierten Segments 74.

[0081] Auf das vierte Segment 74 folgt ein weiteres, als Anode (Brennkammer-Elektrode) ausgebildetes fünftes Segment, welches aus dem Gehäuseboden 18 ragt mit einer Mündungsöffnung 78, aus der ein Plasmastrahl bei Betrieb des erfindungsgemäßen Plasmabrenners austritt. Das fünfte Segment umfaßt einen ersten Abschnitt 80 mit einem zylindrischen Innenraum 82, dessen Durchmesser dem des Innenraums 68 des dritten Segments entspricht und einen zweiten Abschnitt 84, dessen Innenraum 86 kegels stumpfförmig ausgebildet ist, wobei die gedachte Kegelspitze in Richtung des Gehäusedeckels 22 weist und die Mündungsöffnung 78 eine Basis des Kegels stumpfes bildet.

[0082] Die Anoden 30, 66, 76 können dabei, um eine bessere Abdichtung und eine bessere Kühlung zu erreichen, mit den entsprechend dazwischenliegenden Isolierelementen 50 bzw. 74 verlötet sein. Diese Verlotung muß auch die hohen Temperaturen, die beim Betrieb des Plasmabrenners auftreten können, aushalten. Es ist deshalb wichtig, daß die entsprechenden Materialien der Anoden und der Isolierelemente bezüglich ihres Wärmeausdehnungskoeffizienten so angepaßt sind, daß durch die hohen Temperaturen keine Beschädigung der Lötverbindung auftritt. Es kann dabei erfindungsgemäß vorgesehen sein, daß zwischen den zu verlötenden Teilen ein Puffermaterial aufgebracht wird, insbesondere mittels Sprengplattierung, das einen Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweist, welcher zwischen dem des Materials für die entsprechende Anode und dem des Materials für das entsprechende Isolierele-

ment liegt, um so einen Ausgleich bezüglich der Wärmeausdehnung bei Temperaturerhöhung zu schaffen.

[0083] Zur Kühlung der Brennkammer 26 ist eine als Ganzes mit 88 bezeichnete Kühlvorrichtung vorgesehen. Diese umfaßt parallel zur Brennkammerachse 16 in der Gehäusewand 14 angeordnete Kühlkanäle 90, die insbesondere symmetrisch bezüglich der Brennkammerachse 16 verteilt angeordnet sind und über die ein Kühlmittel, insbesondere Wasser, der Brennkammer 26 zuführbar ist. Dazu weist der Gehäusedeckel 22 entsprechende Kanäle 92 auf, über die das Kühlmittel zu- und/oder abführbar ist.

[0084] Des weiteren ist zwischen dem Gehäusedeckel 22 und dem ersten Segment 30 der Brennkammer 26 ein Schlußelement 94 angeordnet, zwischen welchem und dem Gehäusedeckel 22 ein zylindrischer Hohlraum 96 gebildet ist, der als Verteilerraum für das Kühlmittel dient. Dieser Hohlraum 96 ist fluiddicht gegenüber den Kanälen 90, 92 abgeschlossen. Zur Zuführung/Abführung von Kühlmittel in diesen Verteilerraum 96 weist der Gehäusedeckel 22 einen oder mehrere entsprechende Kanäle auf. Bevorzugterweise ist es vorgesehen, das Kühlmittel über den Hohlraum 96 zugeführt wird und über die Kanäle 90, 92 abgeführt wird. Die entsprechenden Zuführungsvorrichtungen und Abführungsvorrichtungen sind in der Figur 1 nicht gezeigt.

[0085] Durch das Schlußelement 94 verlaufen, wie in Figur 1 gezeigt, parallel zur Brennkammerachse 16 Kanäle 98, die ebenfalls bevorzugterweise symmetrisch verteilt um die Brennkammerachse 16 angeordnet sind. Diese Kanäle setzen sich in dem ersten Segment 30 als Kanäle 100 fort, wobei entsprechende Dichtungen 102 zur fluiddichten Abdichtung zwischen dem Schlußelement 94 und dem ersten Segment 30 angeordnet sind.

[0086] Die Kanäle 100 münden in dem ersten Segment 30 im Bereich des zweiten Segmentabschnitts 36 in einen Hohlraum 104, durch den die mit Kühlmittel beaufschlagbare (äußere) Brennkammerfläche vergrößert ist. Von dem Hohlraum 104 gehen weitere Kanäle 106 aus, die sich in dem Isolierelement 50 und dem dritten Segment 66 fortsetzen, wobei jeweils zwischen dem ersten Segment 30 und dem zweiten Segment 50, und dem zweiten Segment 50 und dem dritten Segment 66 entsprechende Dichtungen angeordnet sind.

[0087] Ebenfalls sind zwischen dem ersten Segment 30 und der Gehäusewand 14 Dichtungen 108 angeordnet, die insbesondere verhindern, daß Kühlmittel aus dem Hohlraum 96 in den Bereich zwischen dem ersten Segment 30 und der Gehäusewand 14 eindringt.

[0088] Zwischen dem Isolierelement 50 wie auch zwischen dem Isolierelement 74 und der Gehäusewand 14 ist dabei jeweils ein ringförmiger Hohlraum 110 gebildet, wobei entsprechende Dichtungen so angeordnet sind, daß Kühlmittel auch nicht in diesen Hohlraum 110 eindringen kann.

[0089] Das als Anode ausgebildete dritte Segment 66 weist ebenfalls einen ringförmigen Hohlraum 112 auf, der die mit Kühlmittel beaufschlagbare Fläche der An-

ode 66 vergrößert. Von diesem Hohlraum ausgehend führen Kanäle durch das zweite Isolierelement (viertes Segment) 74 und das als Anode ausgebildete fünfte Segment 76 in einen weiteren ringförmigen Hohlraum 114 des fünften Segments 76, in welchen die Kanäle 90 in der Gehäusewand 14 münden, so daß die Brennkammer durchströmendes Kühlmittel ausgehend von dem Hohlraum 114 über die Kanäle 90, 92 aus dem erfindungsgemäßen Plasmabrenner abführbar ist.

[0090] In dem Kathodenhalter 40, welcher auf der Auflagestufe 38 angeordnet ist, sitzen parallel ausgerichtet zur Brennkammerachse 16 Halter, die durch den Gehäusedeckel 22, den Verteilerraum 96, das Schlußelement 94 und durch entsprechende Öffnungen 116 in den Brennraum 28 ragen. Bei einer Variante eines Ausführungsbeispiels sind drei Kathoden als Gegenelektroden zu den Brennkammer-Anoden vorgesehen und entsprechend drei Halter 116, welche symmetrisch um die Brennkammerachse 16 verteilt sind, d. h. die Eckpunkte eines gleichseitigen Dreiecks bilden (vgl. Figur 6).

[0091] An dem in den Brennraum 28 weisenden Ende sitzt jeweils eine stabförmige Kathode 118 als Gegenelektrode zu den Brennkammer-Elektroden, welche beispielsweise aus Wolfram gefertigt ist. Die Halter 116 sind dabei mit Innenkanälen versehen, durch die ein Kühlmittel, insbesondere Wasser, zur Kühlung der Kathode 120 an dem Halter 116 zuführbar ist.

[0092] Der Kathodenhalter 40 selber ist mit einem Abstand zu dem Schlußelement 94 angeordnet, so daß ein Hohlraum 122 zwischen dem Schlußelement und dem Kathodenhalter 40 gebildet ist. In diesen Hohlraum 122 mündet ein Kanal 124 für ein Arbeitsgas, wie beispielsweise Argon oder Helium, zur Plasmaerzeugung. Der Hohlraum 122 dient insbesondere als Pufferspeicher für das Arbeitsgas, um Druckschwankungen bei der Zuführung über eine Zuführvorrichtung (in der Figur nicht gezeigt) auszugleichen.

[0093] Der Kathodenhalter 40 umfaßt dabei ein Einblaseelement 126, welches insbesondere aus einem Keramikmaterial gefertigt ist, und mit welchem dieser auf der Auflagestufe 38 aufliegt. Dieses Einblaseelement weist Zuführkanäle 128 auf, welche ausgehend von dem Hohlraum 122 in den Brennraum 28 münden, wobei diese eine Neigung gegen die Brennkammerachse 16 aufweisen, so daß dem Arbeitsgas beim Eintritt in den Brennraum 28 ein Drall erteilbar ist. Die Zuführkanäle 128 sind dabei insbesondere so angeordnet, daß in den Brennraum 28 eingeführtes Arbeitsgas um die Kathoden 120 strömt, d. h. durch den Bereich zwischen den Kathoden und dem ersten Segment 30 strömt.

[0094] Ferner weist der Kathodenhalter den Haltern 116 zugeordnete Ringelemente 130 auf, wobei zwischen einem Halter 116 und dem Einblaseelement 126 quer zur Brennkammerachse 16 ein zylindrischer Ringspalt 132 gebildet ist. In dem Ringelement 130 selber ist jeweils ebenfalls ein im Querschnitt ringförmiger Spalt 134 den Halter 116 umgebend gebildet, wobei die-

ser Spalt kegelförmig in Richtung der Kathode 120 ausgebildet ist, so daß Arbeitsgas durch diesen Spalt 134 in den Ringspalt 132 strömen und die Kathode 120 umströmen kann, um diese mittels Arbeitsgas zu kühlen.

5 [0095] Das Einblaseelement 126 weist ferner coaxial zur Brennkammerachse 116 ein in den Brennraum 28 weisendes Trennelement 136 auf, welches bezogen auf die axiale Richtung über die Kathoden 120 hinaussteht und ebenfalls aus einem isolierenden Keramikmaterial gefertigt ist. Dieses Trennelement 136 dient dazu, die elektrische Beeinflussung der Kathoden gegenseitig zu verhindern.

[0096] Es ist grundsätzlich auch vorgesehen, daß die Anzahl der Anoden der Anzahl der Kathoden entspricht. Es ist dann jeder Brennkammer-Elektrode und insbesondere Anode eine Gegenelektrode und insbesondere Kathode elektrisch zugeordnet, d. h. es ist eine Mehrzahl von Anoden-Kathoden-Elektrodenpaaren gebildet.

10 [0097] Zur Versorgung des Plasmabrenners mit elektrischer Energie ist eine Energieversorgungseinrichtung vorgesehen (in der Zeichnung nicht gezeigt), die eine oder mehrere Netzgeräte umfaßt. Es ist dabei erfindungsgemäß vorgesehen, daß die Strombeaufschlagung jeder Anode 30 (sofern das erste Segment als Anode ausgebildet ist und als Anode wirkt), 66, 76 individuell steuerbar und/oder regelbar ist, d. h. die Strombeaufschlagung jeder Anode unabhängig von den anderen Anoden steuerbar und/oder regelbar ist, um eine optimale Lichtbogenform und optimale Strömungsverhältnisse in dem Brennraum 28 zu erhalten. Insbesondere kann es vorgesehen sein, daß die Anoden elektrisch außerhalb verschaltet werden, um auf diese Weise eine unabhängige Stromversorgung zu ermöglichen.

[0098] Der erfindungsgemäße Plasmabrenner funktioniert wie folgt:

15 [0099] Über den Verteilerraum 96 und die Kanäle 102 wird zur Kühlung der Brennkammer 26 Kühlmittel zu- bzw. abgeführt und über die Kanäle 90 abgeführt bzw. zugeführt. Arbeitsgas wird über den Kanal 124 und den Pufferspeicher 122 dem Brennraum 28 zugeführt, wobei der über den Spalt 134 in den Brennraum 28 gelangende Teil des Arbeitsgases auch die als Kathoden wirkenden Elektroden im Gasstrom kühlt und über die Zuführkanäle 128 eingeblasenes Arbeitsgas einen Drall beim Eintritt in den Brennraum 28 erhält.

20 [0100] Bei Anlegen einer Spannung zwischen den Kathoden und den zugeordneten Anoden und Zuführung des Arbeitsgases wie Argon, Neon, Stickstoff oder Helium wird dabei eine Bogenladung aufrechterhalten, so daß ein Plasmastrahl gebildet ist, der aus der Mündungsöffnung 78, beispielsweise gerichtet auf ein Werkstück, auftritt.

25 [0101] Durch die Mehrzahl von bezüglich der axialen Richtung 16 angeordneten Anoden, deren Strombeaufschlagung insbesondere durch Gleichstrom individuell steuerbar ist, läßt sich entsprechend die Stromverteilung in der Brennkammer 26 einstellen und sich so eine optimale Gestalt des Lichtbogens und entsprechend der

Strömung ausbilden. Insbesondere läßt es sich vermeiden, daß die Plasmaströmung sich einschnürt, wodurch sonst hohe Wandbelastungen auftreten könnten, die sogar zu einer Zerstörung eines Plasmabrenners führen könnten. Auch ein Abbruch ("Quenching") des Lichtbogens läßt sich vermeiden.

**[0102]** Über die Kanäle 58 der Zuführeinrichtungen läßt sich ein Zusatzwerkstoff, wie beispielsweise ein Spraymaterial, einblasen. Die dadurch entstehende Zweiphasenströmung (Plasmastrahl und Zusatzwerkstoff) läßt sich aufgrund der Mehrzahl von Anoden, deren Strombeaufschlagung individuell steuerbar und/oder regelbar ist, gut steuern. Dadurch läßt sich eine hohe Variabilität des Plasmastroms sowohl bezüglich des Massestroms als auch des Energiestroms erreichen.

**[0103]** Es lassen sich insbesondere mehrere Zusatzwerkstoffe über unterschiedliche Isolierelemente (beispielsweise Isolierelement 50 und Isolierelement 74) in den Brennraum 28 einblasen, so daß beispielsweise bei einem Beschichtungsvorgang eine entsprechende Schichtstruktur erhalten werden kann.

**[0104]** Da der Zusatzwerkstoff in den Brennraum nach der engsten Stelle im Brennraum, welche am Übergang zwischen dem zweiten Segmentabschnitt 36 und dem dritten Segmentabschnitt 42 des ersten Segments 30 liegt, eingeführt wird, entfällt eine abrasive Wirkung des Zusatzwerkstoffes im engsten Düsenquerschnitt.

**[0105]** Es kann vorgesehen sein, daß der Zusatzwerkstoff mit Hilfe eines Transportgases, bei dem es sich insbesondere um ein inertes Gas wie Argon, Helium, Stickstoff oder Neon handelt, in den Brennraum 28 über Kanäle 58 eingeblasen wird.

**[0106]** Bei einer Anordnung mit drei Kathoden ist es möglich, daß nur eine der drei Kathoden zur Aufrechterhaltung des Lichtbogens in Verbindung mit dem als Anode ausgebildeten ersten Segment 30 eingesetzt wird, während die beiden anderen Kathoden in Zusammenarbeit mit den anderen Anoden Anteile liefern, die durch den engsten Querschnitt des Brennraums hindurch den Lichtbogen führen. Durch die individuelle Ansteuerbarkeit der Anoden läßt sich so entsprechend der Lichtbogen bei optimaler Energieausnutzung zur Erzielung eines für die entsprechende Anwendung optimalen Plasmastrahls einsetzen.

**[0107]** Zur Stabilisierung des Lichtbogens kann es insbesondere vorgesehen sein, daß der Stromversorgung der Elektroden Hochfrequenzpulse überlagert werden.

**[0108]** Das erste Segment 30 der Brennkammer 26, in welchem der engste Querschnitt der Plasmadüse gebildet ist, weist bezüglich der Strömungsrichtung des Arbeitsgases einen konvergenten Segmentabschnitt 36 auf und einen geringfügig divergenten Teil 42. Die Düsengeometrie ist dabei so ausgelegt, daß in Verbindung mit dissipativen Wandverlusten und dissipativen Strömungsverlusten eine schallnahe Strömung erreichbar

ist, welche insbesondere in Wandnähe eine Unterschallströmung ist und in der Brennkammerachse schallnah ist mit einer Machzahl im Bereich von höchsten etwa 1 bis 1,05. Im nachfolgenden zylindrischen Segment 50 ist dann die Strömung schallnah mit einer mittleren Machzahl von im wesentlichen 1.

**[0109]** Die Strömung verläuft daher praktisch ausschließlich im Unterschallbereich, wobei sie höchstens im schallnahen Überschallbereich liegt. Dadurch ist das Auftreten starker Verdichtungsstöße und den damit einhergehenden großen Ruhedruckverlusten weitgehend vermieden.

**[0110]** Bei einem zweiten Ausführungsbeispiel, welches in Figur 3 gezeigt und als Ganzes mit 140 bezeichnet ist, ist gegenüber dem ersten Ausführungsbeispiel gemäß Figur 1 ein zusätzliches, als Anode ausgebildetes Segment 142 vorgesehen, welches gleich ausgebildet ist wie das dritte Segment 66 gemäß Figur 1, wobei dann auch ein weiteres Isolierelement 144 vorgesehen ist. Ein erstes Segment 148, welches dem Gehäusedeckel 22 am nächsten ist, ist dagegen nicht als Anode ausgebildet, hat aber im wesentlichen die gleiche Form wie das erste Segment 30 gemäß Figur 1.

**[0111]** Bei einer Variante einer Ausführungsform weist das Isolierelement 144, wie in Figur 4 gezeigt, neben dem Kanal 58 für den Zusatzwerkstoff noch ein Kathodenelement 144 auf, welches in den Brennraum 28 ragt und das mit Gleichstrom, Wechselstrom oder Drehstrom versorgbar ist. Das Kathodenelement 144 ist dabei insbesondere in einer radialen Richtung 146 quer und insbesondere senkrecht zur Brennkammerachse 16 ausgerichtet.

**[0112]** Über ein solches Kathodenelement 144 ist eine Zusatzheizung für das Plasma in dem Brennraum 28 gebildet, so daß eine zusätzliche Temperaturregelung und/oder Temperaturregelung des Plasmas erfolgen kann. Dadurch wird die Variabilität des erfindungsgemäßen Plasmabrenners weiter erhöht.

**[0113]** Solche Kathodenelemente 144 können auch an anderen Isolierelementen vorgesehen sein.

**[0114]** Die Zusatzheizung stellt eine Verengung des zylindrischen Strömungskanal dar; bei schallnaher Anströmung der Zusatzheizung mittels Unterschallströmung ergibt sich strömungsmäßig nach der Zusatzheizung eine schallnahe Überschallströmung. Durch strömungsabwärts durchgeführtes Einblasen von Zusatzwerkstoff kann dabei die Auslösung schwacher Verdichtungsstöße realisiert werden. Durch die Einblasung von Zusatzwerkstoff läßt sich dadurch ein Stoßdiffusor ausbilden, welcher so Druckschwankungen und Instabilitäten in der Strömung entgegen wirkt. Dies ist erreicht, ohne daß die Kanalgeometrie im Bereich der zylindrischen Strömung selber verändert werden muß. Der negative Einfluß einer schallnahen Überschallströmung durch Durchführung einer Zusatzheizung läßt sich also durch Einblasen von Zusatzwerkstoff, welche eine Stoßdiffusorwirkung ausübt, eliminieren.

**[0115]** Um dies zu erreichen, sind die Anordnung,

Durchführung insbesondere die elektrischen Betriebsparameter der Zusatzheizung an die spezielle Ausgestaltung der Kanalgeometrie anzupassen und insbesondere ist eine Abstimmung bezüglich dieser Elemente durchzuführen, um Druckschwankungen und Instabilitäten zu verhindern. Eine Voraussetzung dafür, daß diese Abstimmung überhaupt durchführbar ist, ist jedoch, daß der Zusatzwerkstoff in eine Ultraschallströmung oder höchstens schallnahe Strömung eingeblasen wird und nicht in eine vollausgebildete Überschallströmung. Durch die entsprechende Ausgestaltung des Düsensegments 30 der Brennkammer 26, welches den engsten Querschnitt der Plasmadüse aufweist, ist dies erreichbar.

[0116] Ansonsten ist der Plasmabrenner gemäß der zweiten Ausführungsform im wesentlichen gleich ausgebildet wie der gemäß der ersten Ausführungsform und funktioniert auch im wesentlichen gleich. Gleiche Bauteile bei der zweiten Ausführungsform tragen daher in den Figuren 3 und 4 dasselbe Bezugszeichen wie in den Figuren 1 und 2.

[0117] Im Unterschied zu der ersten Ausführungsform ist jedoch die erste Anode erst nach dem engsten Querschnitt im Segment 148 angeordnet.

[0118] Bei einer dritten Ausführungsform, welche in der Figur 5 als Ganzes mit 150 bezeichnet ist, ist der Gehäusedeckel 22 und der Gehäuseboden 18 über einen ersten Bolzen 152 und einen zweiten Bolzen 154 gespannt, die durch einen Sechskant 156 mit jeweils gegendrehenden Innengewinden gegeneinander gehalten und miteinander verspannbar sind, um dadurch eben Gehäuseboden 18 und Gehäusedeckel 22 mit der Gehäusewand 14 zu verspannen.

[0119] Die Bolzen 152 und 154 sind im wesentlichen gleich ausgebildet mit einem Bolzenkopf 158. Sie gehen durch eine Öffnung 160 jeweils im Gehäusedeckel 22 und Gehäuseboden 18, wobei in dieser Öffnung ein Isolierelement 162 zur elektrischen Isolierung der Bolzen von dem Gehäuse 12 sitzt. Zwischen dem Bolzenkopf und dem Gehäuseboden 18 bzw. der Gehäusewand 14 ist eine Beilagscheibe 163 und eine Scheibenfeder 164 angeordnet. Durch Drehung des Sechskants 156 werden Gehäusedeckel 22 und Gehäuseboden 18 miteinander verspannt.

[0120] Insbesondere sind mehrere derartige Bolzenverbindungen um das Gehäuse 12 vorgesehen.

[0121] Bei dem in Figur 5 gezeigten Ausführungsbeispiel ist vom Gehäusedeckel 22 ausgehend eine erste Anode 166, ein erstes Isolierelement 168, eine zweite Anode 170, ein zweites Isolierelement 172, eine dritte Anode 174, ein drittes Isolierelement 176 und schließlich dem Gehäuseboden 18 zugewandt eine vierte Anode 178 vorgesehen. Diese vierte Anode 178 weist auch die Mündungsöffnung 78 auf.

[0122] Das zweite Isolierelement 172 ist mit einer Mehrzahl von Elektroden 180 (Figur 7) versehen, welche in radialer Richtung in die Brennkammer 28 ragen. Bei diesen Elektroden handelt es sich insbesondere um

Kathoden.

[0123] Bei der in Figur 7 gezeigten Variante sind symmetrisch verteilt zur Brennkammerachse 16 drei Kathodenelemente 180 zur Zusatzheizung des Plasmas vorgesehen.

[0124] Ein Halter 182 für ein Kathodenelement 180 ist dabei bezogen auf den Brennraum 28 zurückgesetzt angeordnet, so daß zwischen einer Brennraumbegrenzungsfläche 184 und einem dem Brennraum 28 zuweisenden Ende des Halters 182 ein Abstand gebildet ist.

[0125] In Figur 5 und 6 ist der Kathodenhalter 40 gezeigt. Es kann insbesondere vorgesehen sein, daß die Kathoden 40 relativ zur Brennkammer 28 verschieblich sind, wobei die Position der Kathoden in der Brennkammer 28 eingestellt werden kann.

[0126] Die Verschieblichkeit kann erreicht werden, indem der Kathodenhalter 40 als Ganzes verschieblich ausgebildet ist oder jeder der Halter 116 verschieblich ausgebildet ist.

[0127] Dadurch läßt sich die optimale Position der Kathoden 40 in der Brennkammer 28 während des Betriebes des erfindungsgemäßen Plasmabrenners einstellen, um so insbesondere die Wandbelastung der Brennkammer möglichst gering zu halten.

[0128] Es kann auch vorgesehen sein, daß die Brennkammer-Elektroden und die Gegenelektrode beziehungsweise Gegenelektroden so mit elektrischer Energie beaufschlagt werden und insbesondere mit Drehstrom, daß eine umlaufender, zeitlich nicht stationärer Drehstromlichtbogen erzeugt wird. Ein solcher, mit Drehstromfrequenz umlaufender Lichtbogen kann bei drei Elektrodenpaaren sukzessiv zwischen jeweils je zwei benachbarten Elektroden (Gegenelektroden) gezündet werden. Die Gegenelektrode/Gegenelektroden und Brennkammer-Elektroden wirken dann sukzessiv abwechselnd als Anoden und Kathoden und auch zeitlich abwechselnd als solche.

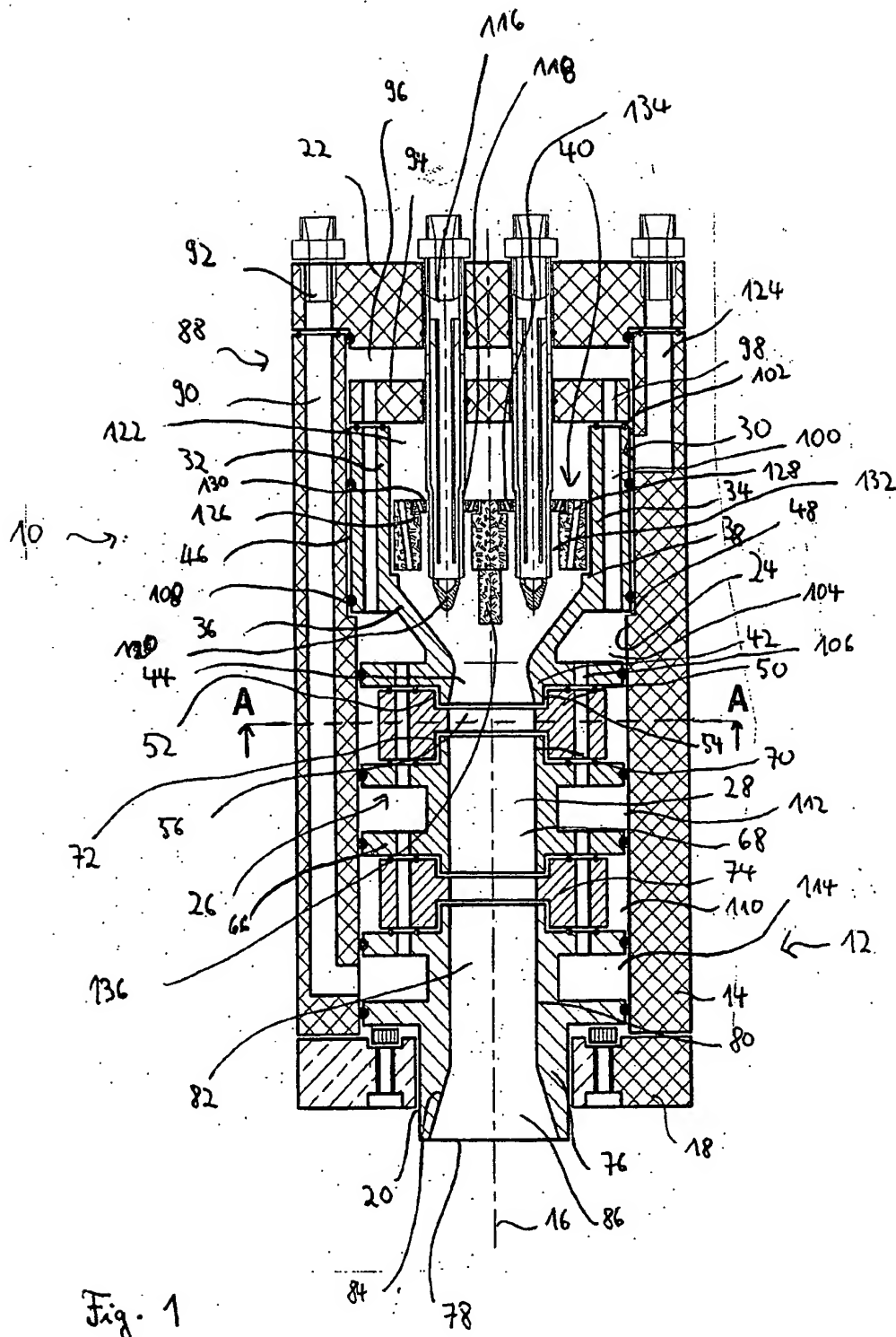
## 40 Patentansprüche

1. Plasmabrenner mit einer Brennkammer (26), in welcher zwischen einer Elektrode und einer Gegenelektrode ein Lichtbogen erzeugbar ist und dem ein Arbeitsgas zur Plasmabildung zuführbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Brennkammer (26) eine Mehrzahl von Brennkammer-Elektroden (30, 66, 76) umfaßt, welche in axialer Richtung bezüglich einer Brennkammerachse (16) aufeinanderfolgend angeordnet sind und daß jede einzelne Brennkammer-Elektrode (30; 66; 76) individuell elektrisch ansteuerbar ist.
2. Plasmabrenner nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen benachbarten Brennkammer-Elektroden (30, 66) jeweils ein Isolierelement (50) angeordnet ist.

3. Plasmabrenner nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein Isolierelement (50) mit einem elektrisch nicht leitenden Überzug versehen ist.
4. Plasmabrenner nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß in einem Innenraum eines Isolierelements (50) ein Abstandsring angeordnet ist. 5
5. Plasmabrenner nach einem der Ansprüche 2 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß ein Isolierelement (50) mit einer benachbarten Brennkammer-Elektrode (30; 66) verlötet ist. 10
6. Plasmabrenner nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Material für eine Brennkammer-Elektrode und das Material für ein damit zu verbindendes Isolierelement so gewählt sind, daß die Wärmedehnung von Isolierelement und Brennkammer-Elektrode aneinander angepaßt ist. 15 20
7. Plasmabrenner nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß ein Puffer zwischen einer Brennkammer-Elektrode und einem zu verbindenden Isolierelement aus einem Puffermaterial vorgesehen ist, welches einen Wärmedehnungskoeffizienten zwischen dem des Materials des Isolierelements und dem des Materials der Brennkammer-Elektrode aufweist. 25 30
8. Plasmabrenner nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Puffermaterial mittels Sprengplattierung auf die Brennkammer-Elektrode und/oder das Isolierelement aufgebracht ist. 35
9. Plasmabrenner nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Brennkammer (26) rotationssymmetrisch um die Brennkammerachse (16) ausgebildet ist. 40
10. Plasmabrenner nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Brennkammer (26) als Plasmadüse für einen Plasmastrahl ausgebildet ist. 45
11. Plasmabrenner nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß ein Düsensegment (30) der Plasmadüse, welches den engsten Querschnitt der Plasmadüse umfaßt, als Elektrode ausgebildet ist. 50
12. Plasmabrenner nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß ein Düsensegment (148) der Plasmadüse, welches den engsten Querschnitt der Plasmadüse umfaßt, nicht als Elektrode ausgebildet ist und/oder nicht als Elektrode wirkt. 55
13. Plasmabrenner nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß bezogen auf die Strömungsrichtung des Arbeitsgases nach dem Düsensegment (30), welches den engsten Querschnitt der Plasmadüse umfaßt, ein Düsensegment angeordnet ist, welches als Elektrode ausgebildet ist.
14. Plasmabrenner nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Zusatzwerkstoff in die Brennkammer (26) einführbar ist.
15. Plasmabrenner nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Zuführung des Zusatzwerkstoffes in die Brennkammer (26) bezogen auf die Strömungsrichtung des Arbeitsgases nach dem engsten Querschnitt der Brennkammer (26) erfolgt.
16. Plasmabrenner nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß Zusatzwerkstoff quer zu einer Brennkammerachse (16) in die Brennkammer (26) einführbar ist.
17. Plasmabrenner nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß Zusatzwerkstoff im wesentlichen senkrecht zur Brennkammerachse (16) in die Brennkammer (26) einführbar ist.
18. Plasmabrenner nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß Zusatzwerkstoff quer zu einer radialen Richtung (62) in die Brennkammer (26) einführbar ist.
19. Plasmabrenner nach einem der Ansprüche 14 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß ein Isolierelement (50), welches zwischen benachbarten Brennkammer-Elektroden (30, 66) angeordnet ist, als Zuführungseinrichtung ausgebildet ist, welche eine oder mehrere Zuführkanäle (58) zur Einführung von Zusatzwerkstoff in die Brennkammer (26) umfaßt.
20. Plasmabrenner nach einem der Ansprüche 14 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß zum Einblasen von Zusatzwerkstoff in die Brennkammer (26) ein Transportmedium in die Brennkammer (26) einleitbar ist.
21. Plasmabrenner nach einem der Ansprüche 14 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß eine Mehrzahl von Zuführungseinrichtungen (50) vorgesehen sind, durch welche Zusatzwerkstoff in die Brennkammer (26) einführbar ist, wobei die Zuführungseinrichtungen (50) axial beabstandet sind und die Zuführung durch die jeweiligen Zuführungseinrichtungen (50) unabhängig voneinander durchführbar ist.
22. Plasmabrenner nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Brennkammer (26) eine Mehrzahl von Anoden (30,

- 66, 76) als Brennkammer-Elektroden umfaßt.
23. Plasmabrenner nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß eine Gegenelektrode zu einer Brennkammer-Elektrode eine Kathode (40) ist. 5
24. Plasmabrenner nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Mehrzahl von Gegenelektroden (40) zu den Brennkammer-Elektroden (30, 66, 76) vorgesehen ist. 10
25. Plasmabrenner nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl von Gegenelektroden der Anzahl der Brennkammer-Elektroden entspricht. 15
26. Plasmabrenner nach Anspruch 24 oder 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Gegenelektroden (40) zu den Brennkammer-Elektroden (30, 66, 76) symmetrisch bezüglich einer Brennkammerachse (16) angeordnet sind. 20
27. Plasmabrenner nach einem der Ansprüche 24 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß drei Elektroden als Gegenelektroden (120) zu den Brennkammer-Elektroden (30, 66, 76) vorgesehen sind. 25
28. Plasmabrenner nach einem der Ansprüche 25 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß zur Zuführung von Arbeitsgas ein zentraler Zuführungskanal vorgesehen ist. 30
29. Plasmabrenner nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Pufferspeicher (122) für das Arbeitsgas vorgesehen ist. 35
30. Plasmabrenner nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Arbeitsgas zur Gegenelektrodenkühlung einsetzbar ist. 40
31. Plasmabrenner nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Gegenelektrodenhalter (40) vorgesehen ist, der einen oder mehrere Kanäle (128) umfaßt, durch die das Arbeitsgas der Brennkammer (26) zuführbar ist. 45
32. Plasmabrenner nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Gegenelektrodenhalter (40) um eine Gegenelektrode (40) ein im Querschnitt ringartiger Spalt (134) gebildet ist. 50
33. Plasmabrenner nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, daß ein im Querschnitt ringartiger Spalt (134) kegelförmig ausgebildet ist mit einer Neigung in Richtung der Gegenelektrode (40). 55
34. Plasmabrenner nach einem der Ansprüche 31 bis 33, dadurch gekennzeichnet, daß der oder die Kanäle (128) in Richtung der Brennkammerachse (16) geneigt sind.
35. Plasmabrenner nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, daß beim Eintritt des Arbeitsgases in die Brennkammer (26) ein Drall erzeugbar ist.
36. Plasmabrenner nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, daß der Drall gleichsinnig oder gegensinnig zur Strömung eines Zusatzwerkstoffes in die Brennkammer (26) ist.
37. Plasmabrenner nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Gegenelektrode (120) bezüglich des Brennraums (28) verschieblich ist.
38. Plasmabrenner nach Anspruch 37, dadurch gekennzeichnet, daß eine Gegenelektrode (120) während des Betriebs des Plasmabrenners in ihrer axialen Stellung verstellbar ist.
39. Plasmabrenner nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Strombeaufschlagung jeder Gegenelektrode unabhängig von derjenigen der anderen Gegenelektroden einstellbar und steuerbar und/oder regelbar ist.
40. Plasmabrenner nach Anspruch 39, dadurch gekennzeichnet, daß eine Stromversorgung für jeweils ein Elektrodenpaar Gegenelektrode und zugeordneter Brennkammer-Elektrode vorgesehen ist.
41. Plasmabrenner nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein oder mehrere Netzgeräte für die Stromversorgung der Elektroden vorgesehen sind.
42. Plasmabrenner nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Stromversorgung der Elektroden Hochfrequenzpulse überlagerbar sind.
43. Plasmabrenner nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Zusatzheizung für die Brennkammer (26) vorgesehen ist.
44. Plasmabrenner nach Anspruch 43, dadurch gekennzeichnet, daß die Zusatzheizung dadurch gebildet ist, daß der elektrischen Energieversorgung der Elektroden (120) ein Drehstrom überlagert wird.
45. Plasmabrenner nach Anspruch 43 oder 44, dadurch gekennzeichnet, daß die Zusatzheizung eine oder

- mehrere Elektroden (180) umfaßt, welche quer zur Brennkammerachse (16) in die Brennkammer (26) weisen.
46. Plasmabrenner nach Anspruch 45, dadurch gekennzeichnet, daß eine Elektrode (180) einer Zusatzheizung im wesentlichen in einer radialen Richtung der Brennkammer (26) ausgerichtet ist. 5
47. Plasmabrenner nach einem der Ansprüche 43 bis 46, dadurch gekennzeichnet, daß die Zusatzheizung mittels Gleichstrom und/oder Wechselstrom und/oder Drehstrom betätigbar ist. 10
48. Plasmabrenner nach einem der Ansprüche 10 bis 47, dadurch gekennzeichnet, daß ein Düsensegment (30) der Plasmadüse, welches den engsten Querschnitt umfaßt, einen konvergenten Teil (36) und einen sich anschließend schwach divergenten Teil (42) aufweist. 15 20
49. Plasmabrenner nach Anspruch 48, dadurch gekennzeichnet, daß eine Gegenelektrode (120) und die Brennkammer-Elektroden (30, 66, 76) so angeordnet sind, daß ein Lichtbogen durch den engsten Querschnitt der Plasmadüse durchführbar ist. 25
50. Plasmabrenner nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Zusatzwerkstoff stromabwärts bezüglich einer Zusatzheizung für die Brennkammer (26) einführbar ist. 30
51. Plasmatriebwerk gekennzeichnet durch einen Plasmabrenner gemäß einem der vorangehenden Ansprüche. 35
52. Plasmatriebwerk nach Anspruch 51, dadurch gekennzeichnet, daß der Zusatzwerkstoff ein flüssiges Medium ist. 40
53. Verfahren zur Erzeugung eines Plasmastrahls, bei welchem in einer Brennkammer ein Lichtbogen zwischen einer Elektrode und einer Gegenelektrode erzeugt wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Brennkammer eine Mehrzahl von in axialer Richtung bezüglich einer Brennkammerachse aufeinanderfolgende Brennkammer-Elektroden umfaßt und daß die Brennkammer-Elektroden individuell gesteuert und/oder geregelt mit Strom beaufschlagt werden, um den Lichtbogen in der Brennkammer zu steuern und/oder zu regeln. 45 50
54. Verfahren nach Anspruch 53, dadurch gekennzeichnet, daß Zusatzwerkstoff über eine oder mehrere Zuführeinrichtungen, welche zwischen benachbarten Brennkammer-Elektroden angeordnet sind, in die Brennkammer eingeblasen wird. 55
55. Verfahren nach Anspruch 53 oder 54, dadurch gekennzeichnet, daß der Zusatzwerkstoff in eine Unterschallströmung oder höchstens eine schallnahe Überschallströmung in der Brennkammer eingeblasen wird.





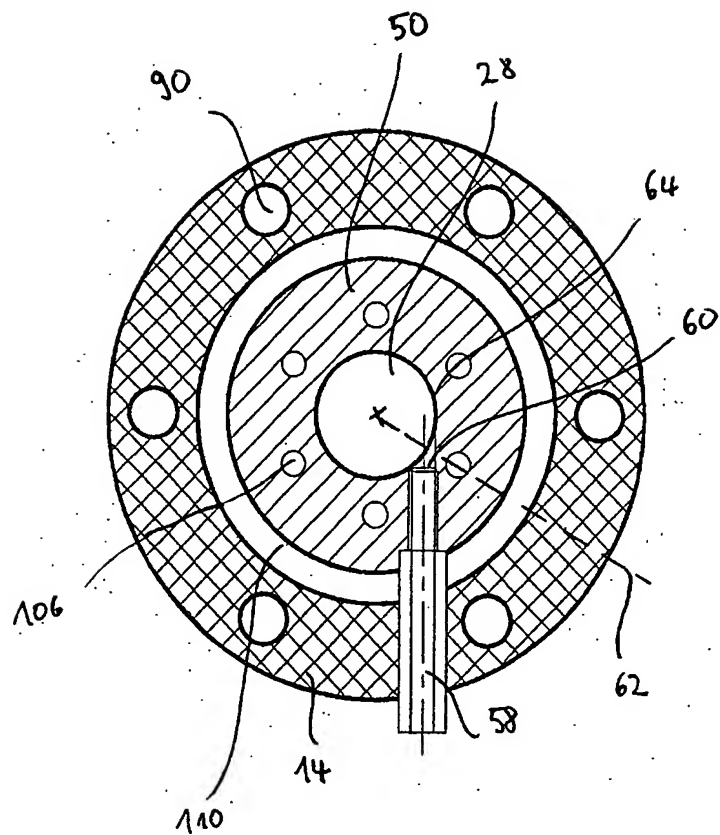


Fig. 2

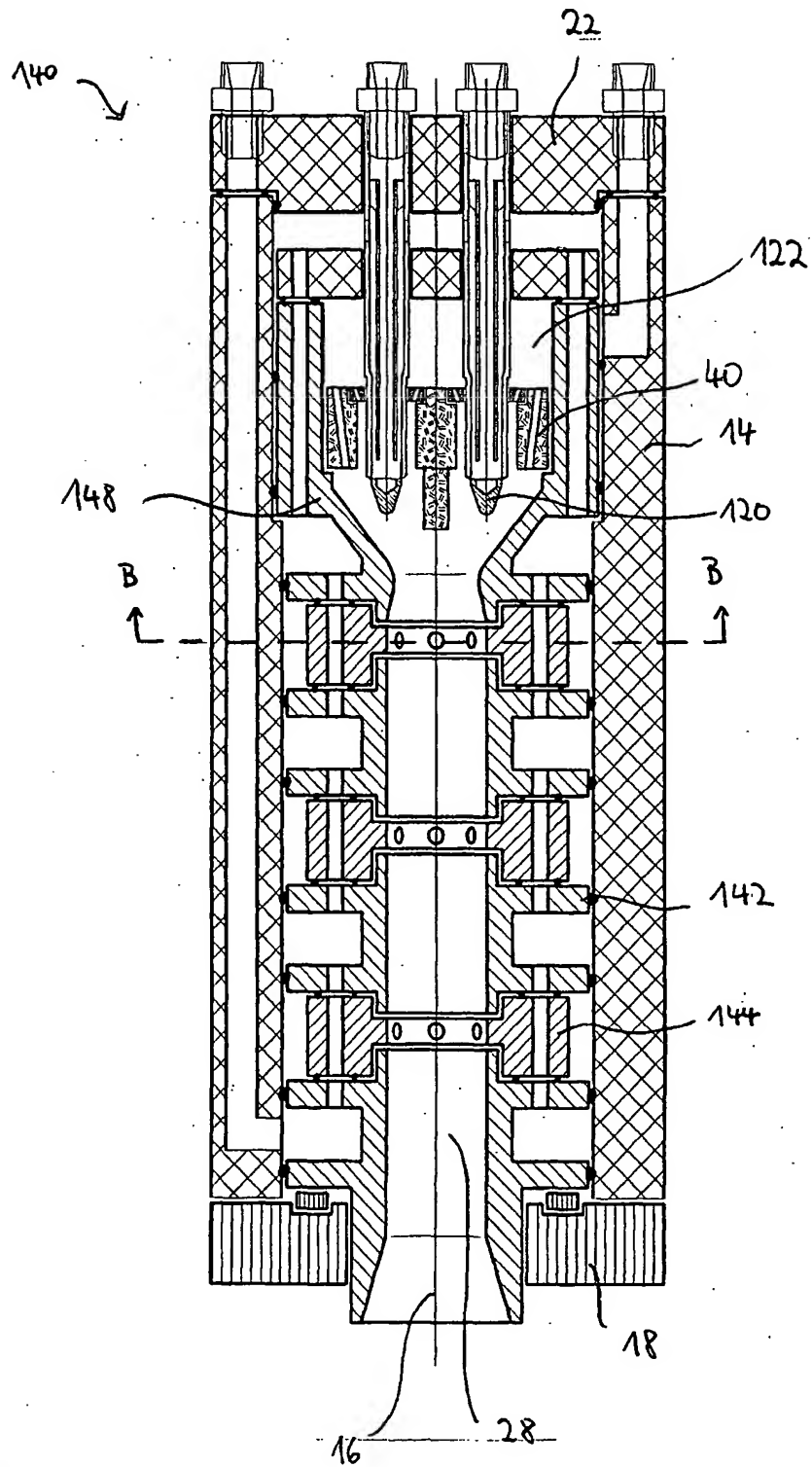


Fig. 3

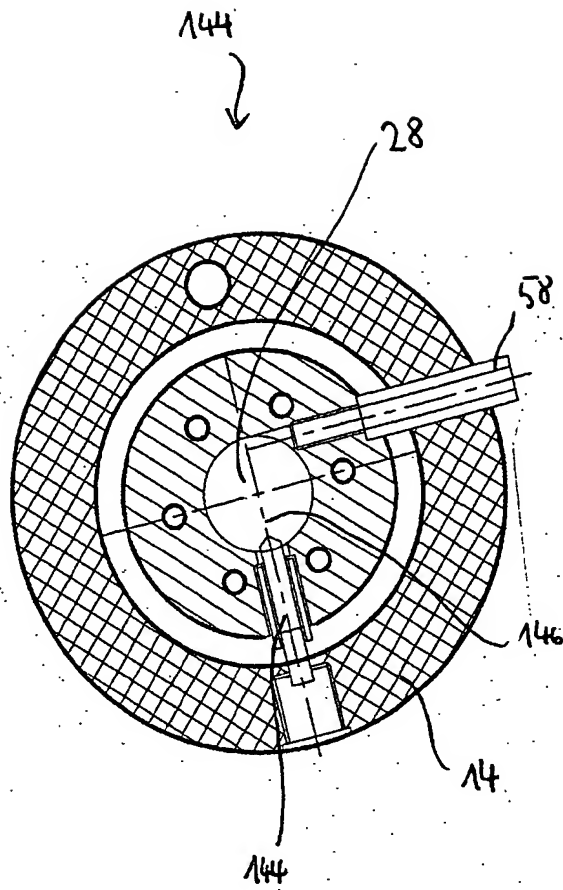
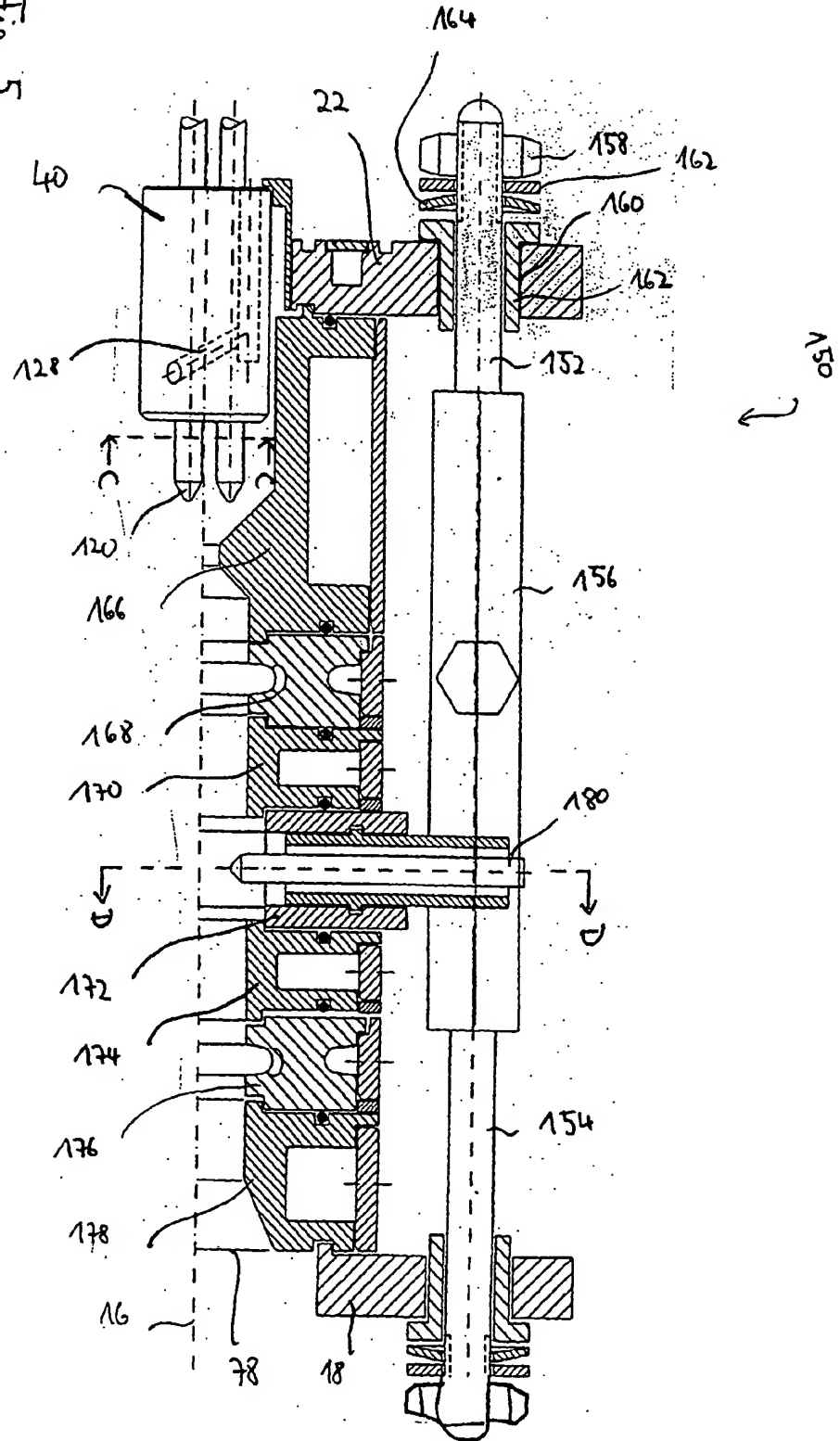


Fig. 4

Fig. 5



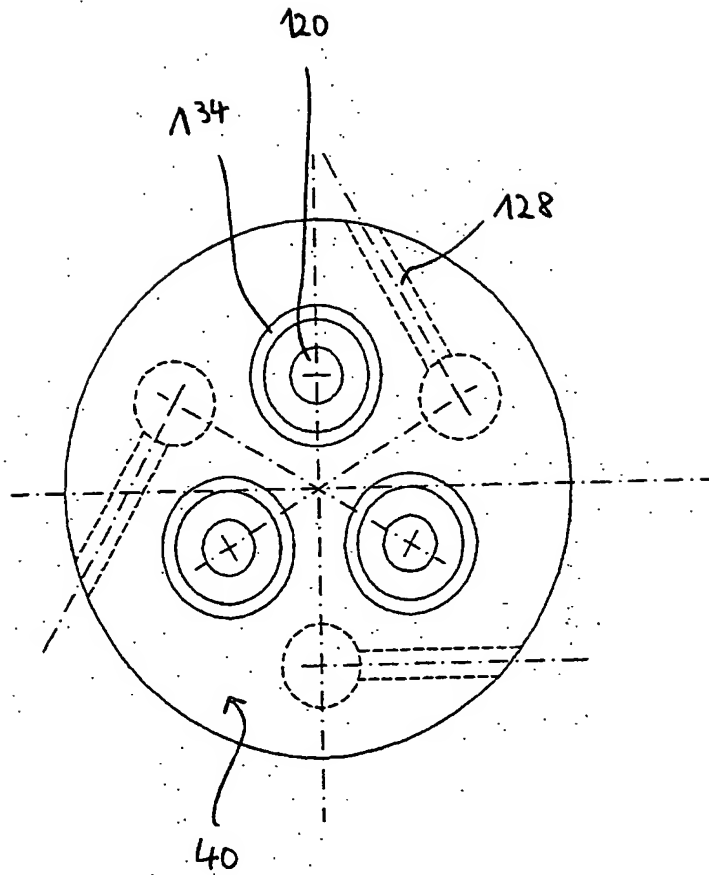


Fig. 6

Fig. 7

